KOSMOS

CZASOPISMO

POLSKIEGO TOWARZYSTWA PRZYRODNIKÓW IM. KOPERNIKA

(BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ POLONAISE DES NATURALISTES „KOPERNIK")

REDAKTOR:

PROF. JULIAN TOKARSKI

ROCZNIK XLII.

ZA ROK

1917

LWÓW.
NAKŁADEM POLSKIEGO TOWARZYSTWA PRZYRODNIKÓW IM. KOPERNIKA.
NA SKŁADZIE W KSIĘGARNI GUBRYNOWICZA I SYNA.
I. Związkowa drukarnia we Lwowie, ulica Lindego l. 4.

wysoko, a dowodzą tego zaproszenia nadsyłane z zagranicy, np. w r. 1910 i 1916 zaproszony został przez Tow. naukowe w Getyndze do wzięcia udziału w cyklu wykładów z zakresu teoryi kinet. i atomistyki. Wygłosił wówczas szereg referatów z obu tych dziedzin.

W Towarzystwie naszem zajmował Zmarły od czasu przybycia swego do Lwowa wybitne stanowisko, najprzód jako Członek Zarządu, a potem jako prezes w r. 1906 i 1907. Biorąc żywy i czynny udział w naszych pracach, jako prelegent i współpracownik „Kosmosu“, zostawił po sobie w sercach wszystkich gorące wspomnienie, a w dziejach Towarzystwa naszego niezatarty ślad.

Zapalony miłośnik przyrody we wszystkich objawach, zamiłowany turysta, umiał łączyć szczęśliwie zamiłowanie ze ścisłą wiedzą w jedną harmonijną, piękną całość, tak jak to potrafią tylko ludzie o niezwykle wysokim poziomie ducha.

Niechajże to dzisiejsze wspomnienie będzie choć skromnym dowodem czci, jaką otaczać zawsze będziemy imię i pamięć prof. Maryana Smoluchowskiego!

Przemówienie p. K. Zakrzewskiego p. t.: O działalności naukowej ś. p. Maryana Smoluchowskiego.

Działalność naukowa ś. p. Maryana Smoluchowskiego była tak różnorodną i w rezultaty obfitą, a przytem sięgającą tak głęboko w całokształt naszego przyrodniczego poglądu na świat, iż jej poznanie i ocena wymagają poważnego i specyalnego studyum. W dzisiejszem przemówieniu studyum takiego dać nie mogę; postaram się zatem zaznajomić słuchaczy w bardzo ogólnikowym zarysie z najważniejszymi tylko z tych problematów, jakie zajmowały umysł Zmarłego.

Sięgnijmy w tym celu nieco wstecz w historyę fizyki.

Wiadomo, iż z biegiem lat wyłoniły się w niej dwa różne sposoby traktowania zjawisk. Jeden, sięgający aż do Newtonowskiego „Hypotheses non fingo“, zadawalniał się naukowym opisem zjawisk, nie dążył do głębszego poznania ich treści. Odkąd poznano, iż energia gra tak ważną rolę w zjawiskach, kładł on główny nacisk na wynalezienie i sformułowanie praw rządzących przemianami jej różnych form. Stąd nazwa tego

kierunku: energetyczny, termodynamiczny, albo także fenomenologiczny.

Drugi kierunek nie zadawalniał się opisem, chciał zdobyć głębszy pogląd na fakty, a szukał go w teoryach atomistyczno-kinetycznych, których początek można znaleść w filozofii greckiej, a nawet staroindyjskiej.

Obie te teorye rozwijały się przez długi czas równolegle, a każda mogła się nieraz poszczycić poważnemi zdobyczami na polu różnych badań specyalnych. Energetyczna metoda łatwiej i prędzej, atomistyczna trudniej, przeważnie z powodu trudności matematycznych, nasuwających się przy rozwiązywaniu różnych zagadnień.

Już ta okoliczność doprowadziła do pewnej przewagi metod energetycznych. Co więcej, przyszedł czas, iż między obydwiema wybuchł ostry konflikt — mianowicie na tle kwestyi, związanych z drugą zasadą termodynamiki.

Zasadę tę postawili w formie bardzo ogólnej Carnot, Clausius i Thomson za pomocą metod czysto fenomenologicznych; ona stwierdza, iż zjawiska w przyrodzie się odbywające są w swym całokształcie n i e o d w r a c a l n e i określa właściwości układów, w których takie nieodwracalne zjawiska odbywać się mogą. Jedna z tych właściwości jest taka: każdy układ materyalny, odosobniony od innych, dąży do stanu równowagi, w którym już żadne zmiany energii, a zatem wogóle żadne zjawiska, są niemożliwe. Wszystkie formy energii w tym ostatecznym stanie równowagi, do którego każdy układ nieuchronnie dąży, muszą zazwyczaj przyjąć formę energii cieplnej; stąd stan równowagi nazywa się czasem stanem śmierci cieplnej. Można określić wielkość, która cechuje układ ze względu na możliwość albo niemożliwość dalszych w nim zmian; ona się nazywa entropią. W układzie odosobnionym, w miarę jak się zjawiska odbywają, entropia ciągle rośnie. Jeżeli przyjmie wartość największą, jaka jest możliwa ze względu na naturę i stan ciał należących do układu, dalsze zmiany staną się niemożliwe; nastąpi wtedy stan równowagi.

Gdybyśmy cały wszechświat mogli uważać za układ skończony i izolowany, moglibyśmy także powiedzieć za Clausiusem, że entropia wszechświata dąży do maximum.

Druga zasada została dostrzeżona i sformułowana przez analizę prostych stosunkowo zjawisk ruchu ciepła, tarcia, dyfuzyi itp. Ubrana następnie w formę matematyczną, została sprawdzona w wielu innych przypadkach.

Naodwrót opierając się na niej można było określić jakościowo i ilościowo przebieg zjawisk przedtem nieznanych, dochodząc do wniosków, które następnie doświadczenie zawsze sprawdziło.

Opierając się na tej zgodności łatwo było dojść do wniosku, iż druga zasada, podobnie jak zasada zachowania energii, stanowi pewnik niezbity, z którym każda teorya fizyczna w zgodzie być powinna.

Zastosowano zatem owo kryteryum także do teoryi kinetycznej. Łatwo przewidzieć, że takiej próby teorya ta wytrzymać nie mogła; wszak teorya kinetyczna przyjmuje, że energia ciepla jest energią dynamiczną ruchu cząstek, czy atomów, tymczasem zjawiska dynamiczne, o ile są tylko i czysto dynamiczne, nie są nieodwracalne; przeciwnie są odwracalne, mogą się odbywać w kierunku naprzód lub wstecz, zależnie od pobudki zewnętrznej, doprowadzając układ do stanu początkowego, szeregiem stanów w obu biegach identycznych.

Wielki matematyk francuski Poincaré dowiódł, że każdy układ dynamiczny, składający się z bardzo wielu cząsteczek, działających na siebie siłami bez tarcia, jest jakgdyby peryodycznym; to znaczy: można dla takiego układu zawsze wskazać pewien skończony okres czasu, po upływie którego układ wróci do stanu pierwotnego; ściśle mówiąc, po upływie którego położenie i prędkość wszystkich cząsteczek zbliża się dowolnie blizko do tych wartości, jakie posiadały na początku.

Oczywistą jest rzeczą, że układy nieodwracalne takiej własności nie posiadają. Jeżeli mamy np. w naczyniu roztwór, i jeżeli sztucznem jakiem działaniem sprawimy, że koncentracya w różnych jego miejscach będzie wykazywać różnicę, to na skutek nieodwracalnego procesu dyfuzyi te różnice koncentracyi będą się wyrównywać i w końcu znikną zupełnie; wtedy nastąpi stan równowagi, w którym różnice same przez się wytworzyć się nie mogą; układ nie wróci zatem do stanu początkowego.

Zdawało się zatem istotnie, że istnieje sprzeczność między podstawowemi założeniami teoryi kinetycznej a drugą zasadą termodynamiki. Jeden z największych koryfeuszy teoryi kinetycznej Boltzmann powziął genialną myśl usunięcia tej sprzeczności w sposób pośredni, wykazując, że okresy Poincaré'go powrotu do stanów początkowych są w układach spotykanych w praktyce tak długie, iż możliwość takiego powrotu staje się, jeżeli nie całkowicie wykluczoną, to jednak niesłychanie mało prawdopodobną.

Objaśnijmy to następującym przykładem. Pomyślmy naczynie zamknięte, całkowicie próżne i wpuścimy do niego naprzód jedną tylko cząsteczkę. Na skutek ruchu cieplnego będzie ona biedz ruchem prostoliniowym aż do spotkania ze ścianą Przy każdem spotkaniu zmieni się kierunek ruchu, poczem znów będzie on prostoliniowym i t. d. Podzielmy w myśli naczynie na dwie połowy A i B. Wobec jednakowego pod każdym względem stanu obu tych połówek cząsteczka może w uważanej chwili znajdować się również dobrze w jednej z nich, jak i w drugiej, inaczej mówiąc, prawdopodobieństwo pobytu w jednej lub drugiej połówce naczynia jest jednakowe. Zjawisko przebywania cząstki w A lub B jest zjawiskiem odwracalnem, czasem znajdować się ona będzie w A, czasem w B i będzie istnieć przeciętny okres powrotu do stanu początkowego.

Wpuśćmy teraz do naczynia nie jedną, lecz dwie cząstki. Należy wtedy rozróżniać dwie możliwości; pierwszą: w każdej z połówek znajduje się jedna cząstka; druga — w jednej połówce znajdują się obydwie cząstki, w drugiej żadna. Łatwo okazać, że prawdopodobieństwo pierwszej możliwości jest większe aniżeli drugiej, która stanowi pewien wyjątkowy stan naszego układu. Gdybyśmy zatem co pewien czas — wielką ilość razy, zaglądali do naczynia, znaleźlibyśmy w większej ilości przypadków w każdej połowie po jednej cząstce. Stan taki można także określić w ten sposób, że rozdział cząstek na obydwie połówki jest równomierny. W znacznej ilości przypadków znajdowalibyśmy, że jedna połówka zawiera obydwie cząstki, druga żadnej. Oczywistą jest rzeczą, że okres czasu, w którym będzie trzeba czekać, żeby taki wyjątkowy stan się powtarzał będzie dłuższym, aniżeli w pierwszym przypadku.

Będzie jeszcze dłuższym, jeżeli ilość cząstek w naczyniu będzie wynosić 3, 4, 5 itd.

Jeżeli ich będzie bardzo dużo, jak to ma miejsce zawsze w praktyce, gaz rozejdzie się równomiernie na całe naczynie; prawdopodobieństwo, żeby we wszystkich jednakowych objętościach naczynia znajdowała się jednakowa liczba cząstek będzie największa. Przeciwnie prawdopodobieństwo, żeby cząstki w znacznej ilości zebrały się np. w śródkowej części naczynia, a reszta była próżna będzie znikomo małe. Gdyby się raz taki stan przypadkowo wytworzył, trzebaby czekać tryliony lat (jak to wynika z przybliżonych rachunków Boltzmanna, przeprowadzonych dla analogicznych przypadków) żeby się znowu powtórzył.

A zatem zjawisko rozchodzenia się gazu w naczyniu próżnem i inne zjawiska pokrewne, będzie się według Boltzmanna odbywać w sposób pozornie nieodwracalny, chociaż ruch cząstek jest odwracalny: gaz przyjmie stan równomiernego rozkładu we wszystkich częściach naczynia, gdyż taki stan jest ze wszystkich najprawdopodobniejszym. Stan taki można uważać za stan równowagi o tyle, iż prawdopodobieństwo innego jakiego wyjątkowego rozkładu będzie niesłychanie małe.

Powyższe tłumaczenie Boltzmanna uratowało teoryę kinetyczną, ale tylko w oczach jej zwolenników. Przeciwnicy uważali je za sztuczne, a owa możliwość odwrócenia zjawisk wydawała się im nietylko nieprawdopodobną, ale wogóle niemożliwą.

Z tych powodów teorya kinetyczna straciła na znaczeniu w ostatnich dziesiątkach ubiegłego stulecia; uważano ją wtedy za dogorywający przeżytek. Zatryumfował fenomenologizm i jego koryfeusze Mach, Ostwald, Duhem i inni.

Że jednak w teoryach atomistycznych tkwi dziwna żywotność, zaczęło się to objawiać już wtedy na całkiem innem polu, mianowicie na polu zjawisk elektrycznych. Zdaje się, że nikt nie próbował usunąć pojęcia jonu z opisu zjawisk elektrolizy. Przeciwnie okazało się, że pojęcie to oddaje nieocenione usługi także w nowo wówczas odkrytych zjawiskach przewodnictwa elektryczności w gazach. Zjawiska te doprowadziły wkrótce do wniosku, że nietylko materya, jak twier-

dziły dawniejsze teorye atomistyczne, ale także i elektryczność posiada strukturę atomistyczną.

Otóż w tym właśnie okresie wystąpił Smoluchowski jako badacz samoistny. Był uczniem Boltzmanna i wiedeńskiej szkoły fizyków, która mimo przeciwnych prądów ówczesnych nie opuszczała sztandaru teoryi kinetycznej. Pod tymże sztandarem rozpoczął Smoluchowski swą naukową działalność, zarówno na polu termodynamicznem jak i elektrycznem. To ostatnie jednak szybko opuścił, poświęcając się w dalszych pracach głównie pierwszemu.

Początkowe odnośne badania Smoluchowskiego, które kultywował także w czasie późniejszym, dotyczyły zagadnień, które teorya kinetyczna postawiła już przed nim a zatem zagadnień o przewodnictwie cieplnem, o dyfuzyi i tarciu wewnętrznem gazów, a także zagadnień dotyczących równania charakterystycznego gazów [1]); szczególną uwagę zwrócił na zbadanie przebiegu tych zjawisk, gdy ciśnienie gazu jest małe. Część tych prac jest czysto teoretyczna, inna znowu teoretyczna i doświadczalna. Jakkolwiek bowiem Smoluchowski z natury swego umysłu i z upodobań był teoretykiem, to jednak doświadczalna strona badań fizycznych nie była mu obcą. Jednak nigdy nie robił doświadczeń dla samych tylko doświadczeń; doświadczenia jego były zawsze robione celem poparcia lub ilustracyi teoryi.

Najważniejsze z rezultatów osiągniętych przez Smoluchowskiego na polu powyższych zagadnień dotyczą przewodnictwa cieplnego gazów rozrzedzonych. Jeden z nich polega na wykryciu faktu, iż na granicy, gdzie gaz przewodzący ciepło styka się z ciałem stałem, wytwarza się skończona różnica, czyli skok temperatury. W związku z tym faktem stoi inny, przez Smoluchowskiego wykryty i zbadany, iż proszek z ciała stałego, choćby ono było tak dobrym przewodnikiem ciepła jak metal, przewodzi ciepło bardzo źle, o ile się znajduje w atmosferze rozrzedzonego gazu. Właściwość ta nie jest pozbawiona praktycznego znaczenia.

Warto też wspomnieć, że Smoluchowski okazał, iż słynne prawo Maxwella o niezależności przewodnictwa

---

[1]) Spis odnośnych prac patrz przypis 1.

cieplnego od ciśnienia gazu, jest ważnem tylko dopóty, dopóki ciśnienie gazu nie spadnie do tego stopnia, iż droga swobodna cząstki gazu staje się porównywalną z rozmiarami naczynia, w którem się ruch ciepła odbywa. Gdy ciśnienie jest tak niskie, że droga swobodna staje się dużą w porównaniu z temi ostatniemi, przewodnictwo cieplne staje się proporcyonalnem do ciśnienia. Wniosek ten został dokładnie sprawdzony przez doświadczenia Knudsena.

We wszystkich zjawiskach, któremi się zajmowała dawniejsza teorya kinetyczna gazów i które stanowiły początkowo przedmiot kinetycznych prac Smoluchowskiego, występuje pewna cecha, którą należy tutaj podkreślić. Zjawiska te są rezultatem istnienia i ruchu wielkiej liczby cząstek; doświadczalnie możemy w nich uchwycić tylko przeciętny ich skutek, natomiast indywidualne zachowanie się cząstek pozostawało w nich po za granicami doświadczeń. Jeżeli zatem pomiary w jakiemś poszczególnem doświadczeniu dawały rezultaty zgodne z teoryą, to zgodność ta mogła być uważana tylko jako pośredni dowód prawdziwości założeń teoryi kinetycznej; możnaby pomyśleć, że i inne jakie założenia mogłyby też doprowadzić do związków między przeciętnemi wielkościami z doświadczeniem zgodnych. Takie pośrednie dowody nie mogły być też w żaden sposób uważane jako „experimentum crucis" teoryi kinetycznej.

W umysłach adeptów teoryi kinetycznej musiał już dawno świtać ideał inny: przedewszystkiem, czy z założeń teoryi nie możnaby wyprowadzić wniosków sprzecznych z teoryami fenomenologicznemi; wnioski takie, o ileby je doświadczenie sprawdziło, dałyby oczywiście owo pożądane „experimentum crucis". Powtóre, czy nie możnaby wykryć takich zjawisk, któreby ujawniły w jakiś sposób ruchy poszczególnych cząstek; takie doświadczenia ugruntowałyby w znacznym stopniu zasadnicze założenie teoryi kinetycznej.

Nie ulega wątpliwości, że największą zasługą Smoluchowskiego jest to, iż on właśnie w znacznym stopniu przyczynił się do ugruntowania poglądu, iż zjawiska takie rzeczywiście istnieją i że ich poznanie wymaga stanowczo rewizyi poglądu na wzajemny stosunek teoryi kinetycznej i termo-

dynamiki. Zjawiskami takiemi są te, które wynikają z tak zwanych termodynamicznych fluktuacyi, oraz ruchy Browna.

Fluktuacyą termodynamiczną nazywamy odstępstwa od stanu, który w przypadku równowagi winien być w myśl teoryi fenomenologicznych niezmiennym w czasie.

Weźmy naprzykład przypadek rozważany na wstępie: naczynie napełnione gazem o temperaturze stałej i wszędzie jednakowej. Mówiliśmy o tem, że najprawdopodobniejszym stanem rozdziału cząstek będzie stan wszędzie jednakowej gęstości gazu.

Na skutek ruchu cieplnego cząstek stan taki nie może być absolutnie trwałym, będzie on tylko stanem przeciętnym ze stanów ciągle zmiennej gęstości. Innemi słowy będą w tym przypadku zachodzić wszędzie i zawsze odstępstwa od stanu odpowiadającego równowadze, czyli fluktuacye gęstości. Odstępstwa te będą występować w stopniu tem większym, im mniejsze są objętości wzięte pod rozważanie. Tak np. przestrzeń maleńka, która w danej chwili jest zajęta przez jakąś cząstkę, będzie za chwilę całkiem pusta, gdy cząstka przejdzie w swym ruchu do innych punktów. Ale także i w większych przestrzeniach będą występować zgęszczenia i rozrzedzenia, chociaż na ogół nieznaczne.

Podobnie rzecz ma się z innemi wielkościami, cechującemi własności gazu: z temperaturą, ciśnieniem itd.

Teorya kinetyczna fluktuacyi była znana już dawniej. Nikt jednak nie przypuszczał, by fluktuacye mogły być powodem zjawisk dostępnych dla doświadczenia.

W roku 1904. Smoluchowski zwrócił uwagę na fluktuacye gęstości i opracował je pod względem matematycznym. Później poświęcił fluktuacyom cały szereg prac, w których doszedł do wyników, jakie się odbiły głośnem echem wśród fizyków [1]) spółczesnych. Jeden z najważniejszych dotyczy optycznych własności ośrodka, ulegającego fluktuacyom gęstości; ośrodek taki musi wobec promieni świetlnych, jakie przezeń przechodzą, zachowywać się podobnie jak ośrodek mętny, t. j. taki, w którym występują różnice przestrzenne gęstości, na skutek niejednorodności układu. Takie

---

[1]) Patrz przypisek 2.

ośrodki znamy z codziennego życia: powietrze, w którem unosi się pył, woda zawierająca odrobinę mleka, wreszcie każdy roztwór kolloidalny, np. roztwór wodny żelatyny itp. Promienie światła ulegają w takich ośrodkach częściowemu rozprószeniu w miejscach, gdzie gęstość jest różna od gęstości bezpośredniego otoczenia. Na skutek tego ośrodek taki nie jest wobec promienieni świetlnych zupełnie przeźroczystym i wydaje boczne, zazwyczaj niebieskawe światło. Zjawisko to nazywamy opalescencyą.

Według Smoluchowskiego powinien opalizować także każdy gaz i każda ciecz, nawet chemicznie jednorodna, na skutek różnic gęstości, powstających przez fluktuacye. Opalescencya będzie wybitna w tych przypadkach, gdy fluktuacye będą silne i na odwrót.

Smoluchowski dowiódł teoretycznie, że szczególnie silne fluktuacye występują w gazach w pobliżu stanu krytycznego. Już dawno było wiadomo, iż w gazach w pobliżu tego stanu występuje wybitna opalescencya, stają się one wtedy mętne, jak wodny roztwór mleka. Zjawiska tego nie umiano przedtem wytłumaczyć; w myśl rozważań Smoluchowskiego stało się jasnem, że występować powinno. Rozważania te zaakceptował słynny badacz gazów Kamerlingh Onnes z Lejdy; przedsięwziął on wraz ze swym uczniem Keesomem odpowiednie pomiary i sprawdził teoryę także pod względem ilościowym.

Nawet w zwykłych warunkach temperatury i ciśnienia gazy opalizują, choć w stopniu znacznie słabszym. Przekonał się o tem Smoluchowski doświadczalnie, już pod koniec swego życia. Podkreślił przytem, że właściwie doświadczenia nie są może koniecznie potrzebne; wszak istnieje zjawisko opalescencyi powietrza, które spostrzegamy niemal codziennie, jako t. zw. błękit nieba. Jeżeli założymy, że polega on na rozproszeniu światła od owych, jakgdyby obcych ziarneczek, powstających na skutek fluktuacyi, dojdziemy do teoryi błękitu nieba, zgodnej z rezultatami doświadczeń.

Prócz fluktuacyi gęstości zbadał Smoluchowski także fluktuacye innych wielkości fizycznych. Niektóre z nich doczekały się już doświadczalnego sprawdzenia.

Znaczenie tych badań Smoluchowskiego polega na

tem, że dotyczą one zjawisk, wobec których teorye fenomenologiczne stają zupełnie bezradnie; np. gazy lub ciecze winny być według nich w stanie równowagi wszędzie i zawsze jednakowo gęste, wobec czego opalescencya byłaby niemożliwa.

Tę samą cechę posiadają może jeszcze w większym stopniu zjawiska ruchu Browna, które stanowią drugi ulubiony temat dociekań Smoluchowskiego.

Nazwą ruchów Browna obejmujemy, jak wiadomo, ruchy drobnych obcych ciałek, zawieszonych w cieczach lub gazach. Że ruchy te są odbiciem i objawem ruchów molekularnych cząstek samegoż ośrodka, tego domyślano się już oddawna. Jednym z pierwszych, który te domysły ugruntował i na ścisłej oparł podstawie był znowu Smoluchowski.

W nauce zdarza się często, że myśl jakaś genialna błąka się długo mniej lub więcej uświadomiona, a gdy dojrzeje — wydaje owoc prawie równocześnie i niezależnie w umysłach wielu badaczy. Tak rzecz się miała między innemi z zasadą zachowania energii, podobnież się stało z teoryą kinetyczną ruchów Browna. Postawili ją prawie równocześnie Einstein w r. 1905 i Smoluchowski w r. 1906. Rozumowania ich szły zupełnie różnemi drogami, rezultaty natomiast, pomijając drobne i nieistotne dziś różnice, były identyczne. Streszczają się one w słynnym dziś wzorze, określającym drogę ciałka Brownowskiego w zależności od czasu, temperatury, średnicy cząstek, tudzież od własności ośrodka, w którym są zawieszone. Wzór ten nosi nazwę wzoru Einsteina-Smoluchowskiego.

Doświadczenie stwierdziło jego słuszność z nieoczekiwaną precyzyą — sprawdziło zatem także słuszność zasadniczego założenia, że cząstka obca, większa od cząstek ośrodka, bierze udział w ruchu cieplnym tego ostatniego. Na tej jedynie podstawie można rozumieć ruch Brownowski: gdyby ruch cieplny był tylko fantazyą, obca cząstka wrzucona do cieczy lub gazu musiałaby spadać na dno.

Od czasu ukazania się prac Einsteina i Smoluchowskiego zjawisko ruchu Browna stało się ulubionym tematem prac wielu fizyków i chemików. Sam Smoluchowski zajmował się nim później wielokrotnie, badając skutki, jakie wywierają nań różne czynniki zewnętrzne, np. siła ciężkości,

sąsiedztwo ścian naczynia itp. Na oddzielną wzmiankę zasługuje ważna praca nad mechanizmem koagulacyi roztworów kolloidalnych [1]).

Z pośród różnych prac nad ruchami Browna zasługuje na szczególną uwagę praca szwedzkiego fizyka Svedberga; ona później dała Smoluchowskiemu impuls do ważnych badań na tem polu. Svedberg zauważył i doświadczalnie stwierdził, iż teorya Smoluchowskiego fluktuacyi gęstości w gazach stosuje się bez zmiany do przypadku roztworów kolloidalnych. Istotnie cząstki takiego roztworu zachowują się na skutek ruchów Browna zupełnie analogicznie do cząstek gazu. Muszą zatem wystąpić fluktuacye gęstości. W gazach cząstek poszczególnych zobaczyć niepodobna, fluktuacye można w nich stwierdzić pośrednio; roztwory kolloidalne natomiast posiadają tę zaletę, że cząstki w nich są dostępne bezpośredniej obserwacyi za pomocą mikroskopu lub też ultramikroskopu. Jeżeli pole widzenia tych przyrządów ograniczymy tak, iżby się w niem tylko mała liczba cząstek znajdowała, można je wtedy jednym rzutem oka policzyć i przekonać się, że istotnie liczba ta zmienia się w czasie.

Svedberg zadał sobie trud wielokrotnego określenia ilości cząstek, zawsze po upływie tego samego krótkiego okresu czasu ($^1/_{39}$ minuty). Liczby otrzymane w ten sposób stosują się w zupełności do wzorów Smoluchowskiego, byle roztwór kolloidalny był dostatecznie rozcieńczony. Tak np. w jednym szeregu swych doświadczeń Svedberg obserwował następujące liczby:

1 2 0 0 0 2 0 0 1 3 2 4 1 2 3 1 0 2 1 1 1 1 3 1 itd.

Liczba 0 zdarzyła się tutaj 112 razy, liczbę 1 168 razy, liczba 2 130 razy, podczas gdy ze wzoru Smoluchowskiego wypada, iż zdarzyć się one powinny 110, 170, 132 itd. razy.

W dalszym ciągu swych badań postawił sobie Smoluchowski następujące pytanie: jakie są prawa rządzące szybkością zmian ilości cząstek w doświadczeniach Svedberga. Postawione zagadnienie brzmi jak następuje: jeżeli w uważanej chwili widzę *n* cząstek, jakie jest prawdopodobieństwo, iż

---

[1]) Patrz przypis 3.

po upływie pewnego czasu będę ich widzieć $n+k$, jakie znowu, że ich będzie $n-k$?

Zagadnienie powyższe jest znacznie trudniejsze aniżeli poprzednie, zostało jednak przez Smoluchowskiego w świetny sposób rozwiązane [1]).

Doniosłość tego badania staje się jasna, skoro zważymy, że proces zmian ilości cząstek w doświadczeniach Svedberga jest w mikroskopowej skali zjawisk tym samym procesem, który nie w mikro-, lecz w makroskopowej skali (t. zn. w warunkach, gdy pod obserwacyę przypada znaczna ilość cząstek, a przedmiotem pomiarów jest przeciętne się ich zachowanie) przedstawia się nam jako proces dyfuzyi. W obu przypadkach zmianę ilości cząstek sprawia ich ruch Brownowski; różnica polega na tem tylko, że w pierwszym przypadku mamy stan równowagi, w którym według teoryi fenomenologicznych nie powinny się już odbywać żadne wogóle zmiany, w drugim natomiast wytwarzamy sztucznie stan nierównowagi (wybitne zmiany koncentracyi) — a proces dyfuzyi sprawia wyrównywanie koncentracyi, prowadzące do stanu równowagi, w sposób, który się nam wydaje jako *par excellence* nieodwracalny.

Że te dwa na pozór różne zjawiska mają cechy wspólne, wykazuje Smoluchowski w ten sposób, iż oblicza teoretyczną wartość przeciętnej wartości zmiany ilości cząstek w doświadczeniach Svedberga. Otóż okazuje, że wartość tej przeciętnej jest identyczna z tą, jako daje fenomenologiczna teorya dyfuzyi, opracowana jedynie na podstawie praw dostrzeżonych nad obserwacyą przeciętnego zachowania się cząstek w dyfuzyi zwykłej.

Pomimo swej zgodności istnieje pozornie zasadnicza różnica obu przypadków; w doświadczeniach Svedberga dyfuzya jest odwracalną; liczba cząstek czasem się zbliża, a czasem oddala od tej, jaka odpowiada równomiernemu ich rozdziałowi; albo inaczej, prawdopodobieństwo odwrotne, iż po liczbie n nastąpi m jest takie samo, jak prawdopodobieństwo odwrotne, iż po m nastąpi liczba n, byle czas obserwacyi był dostatecznie długi. Pozór nieodwracalności zostaje zachowany jedynie w następującej okoliczności: jeżeli liczba początkowa przypadkowo

---

[1]) Patrz przypis 4.

jest duża (np. 7, 6 itp.) to najprawdopodobniej w następnym interwale czasu wystąpi znacznie mniejsza; wróci ona jednak z pewnością, chociaż może po tak długim czasie, że powrotu doczekać się nie można.

Żeby różne pod względem ilości cząstek stany scharakteryzować ilościowo, Smoluchowski wprowadza pojęcie analogiczne do okresu w cyklu Poincaré'go, a mianowicie „przeciętny stan powrotu"; przypuśćmy, że w danej chwili widzimy w doświadczeniach Svedberga *n* cząstek, jaki będzie przeciętnie w całym szeregu pomiarów czas, przez który trzeba będzie czekać, żeby po raz drugi zobaczyć ten sam stan *n* cząstek?

Smoluchowski podał ścisły wzór na obliczenie tak określonego czasu i znalazł, że zgadza się on w zupełności z doświadczeniami Svedberga.

W tej ścisłości i możności doświadczalnego sprawdzenia leży znaczny postęp w porównaniu z odnośnemi badaniami Boltzmanna, o których była mowa na początku. Rezultaty Boltzmanna można było uważać za fantazyę — Smoluchowskiego natomiast mają grunt zupełnie realny.

Otóż istotnie wzór Smoluchowskiego okazuje, że przeciętny czas powrotu rośnie bardzo szybko w miarę, jak zwiększa się odstępstwo liczby cząstek od równomiernego ich rozkładu. W doświadczeniach Svedberga ilość cząstek odpowiadająca temu ostatniemu wynosi około 2. Otóż np. dla 7 cząstek czas powrotu wynosi 27 minut, dla 17 aż 500000 lat!

Dla objętości większych, zawierających znacznie większe ilości cząstek, co zawsze się zdarza w zjawiskach odbywających się w skali makroskopowej — czasy powrotu stają się zawrotnie wielkie, można je jednak według Smoluchowskiego ściśle obliczyć w różnych konkretnych przypadkach.

A zatem poglądy Boltzmanna okazują się słusznymi: można je teraz częściowo (mała ilość cząstek — stany nieznacznie różne od przeciętnych) sprawdzić doświadczalnie. Różnica między zjawiskami nieodwracalnemi i odwracalnemi jest ilościowa a nie jakościowa; dla obserwatora, któryby mógł rozporządzać dostatecznie długim czasem obserwacyi, wszystkie zjawiska wydawałyby się odwracalnemi.

Ugruntowanie tego zasadniczego poglądu Boltzmannowskiego zmusza nas za Smoluchowskim do rewizyi różnych twierdzeń uważanych dotąd za bezwzględnie ścisłe; twierdzeń, które stanowią różne formy, pod jakiemi można wygłosić drugą zasadę termodynamiki. One podobnież jak twierdzenie o nieodwracalności zjawisk nie mogą być bezwzględnie ścisłe i istotnie świat zjawisk molekularnych wykazuje wielokrotnie od nich odstępstwa.

Weźmy np. pod uwagę cząsteczkę kolloidalną zawieszoną w cieczy; na skutek ruchu Browna będzie się zdarzać bardzo często, że będzie ona iść do góry, a zatem będzie wykonywać pracę na pokonanie siły ciężkości, oczywiście kosztem ciepła otaczającego ośrodka, co stoi w jaskrawej sprzeczności z t. zw. pewnikiem Thomsona, twierdzącym, iż niemożliwem jest wykonanie pracy kosztem ciepła wziętego z najzimniejszego ciała w otoczeniu.

Albo znowu: weźmy dwie porcye gazu o jednakowej lub niejednakowej temperaturze, stykające się ze sobą. Na skutek ruchu cząstek może się zdarzyć i zdarzy się napewno w ciągu czasu dostatecznie długiego, że cząstki szybsze nagromadzą się w jednej porcyi, choćby cieplejszej, wolniejsze w drugiej; ciepło przejdzie od zimniejszego do gorętszego ciała bez pomocy żadnych czynników zewnętrznych — wbrew pewnikowi Clausiusa, który właśnie twierdzi, że to jest rzecz niemożliwa.

Zważmy, iż możliwość takich zjawisk jest sprawą niesłychanej doniosłości nietylko dla fizyków. Posłuchajmy w tym celu słów samego Smoluchowskiego, który zresztą przy ich wygłoszeniu powołuje się na Boltzmanna.

„Z punktu widzenia statystyki molekularnej jest rzeczą „możliwą, że ciepło słoneczne powstało całkowicie na skutek „takiego przypadkowego, w obrębie wszechświata nagroma„dzonego ciepła“. A dalej:

„Jak dalece wydaje się z tego samego punktu widzenia „niemożliwem do utrzymania twierdzenie Clausiusa, że „entropia wszechświata dąży do maximum. Statystyk mole„kularny będzie widzieć w tem twierdzeniu objaw, że ludzie „patrzą na blizką metę, tudzież, że krótko żyją. W podobny „sposób mogłyby np. pierwsze kwiaty wiosenne dojść do prze-

„konania, że klimat wszechświata staje się coraz to cieplejszy, „gdyż zjawiska odwrotnego w jesieni nigdy dożyć nie mogą. „Analogicznie — możliwość życia organicznego wogóle może „być związana właśnie z taką fazą, która nastąpiła po stanie „początkowym, bardzo od normalnego dalekim, która umożli- „wia rozpraszanie nagromadzonej energii [1])".

Jednakowoż są to tylko możliwości; obecnie nie możemy rozstrzygnąć, czy one istotnie odpowiadają rzeczywistości. Natomiast powstaje tutaj inne konkretne zadanie, które zwróciło uwagę Smoluchowskiego: czy owa przedtem tak sławiona druga zasada jest całkowicie niesłuszna, względnie, jak należy ją sformułować, żeby była bezwzględnie ścisłą.

Najprostszem z punktu widzenia praktycznego wysłowieniem drugiej zasady jest to, które twierdzi, że niemożliwe jest „perpetuum mobile drugiego rodzaju", t. j. niemożliwem jest takie urządzenie, które pozwalałoby czerpać pracę kosztem ciepła branego z jednego źródła o stałej temperaturze, np ziemi, morza itp.

Otóż łatwo sprawdzić, że pomimo istnienia zjawisk, o których była przed chwilą mowa, trwałe zyskiwanie pracy na koszt ciepła ze źródła o jednostajnej temperaturze jest istotnie niemożliwe.

Gdybyśmy np. chcieli zyskiwać pracę za pośrednictwem cząstek kolloidalnych albo gazowych, które ruchem molekularnym wznoszą się do góry i pracują kosztem ciepła branego z otoczenia, musielibyśmy użyć jakiegoś przyrządu, któryby tę pracę nagromadzał. Przychodzi np. na myśl takie urządzenie: podzielmy naczynie zawierające gaz przegrodą na dwie części, górną i dolną. Zróbmy w tej ścianie maleńki otwór i zaopatrzmy go w wentyl jednostronnie się otwierający, np. do góry. Gdyby ten wentyl mógł być dobranym tak, iżby się otwierał pod naciskiem cząstki poruszającej się szybko do góry, to oczywiście po górnej stronie przegrody nagromadzać się będą cząstki, obdarzone szybszym ruchem, wskutek czego ciśnienie w górnej części naczynia będzie wzrastać, natomiast w dolnej maleć. Za pomocą wytworzonej w ten sposób różnicy ciśnień możnaby puścić w ruch jaki motor i zyskiwać trwale pracę, wyziębiając równocześnie naczynie.

[1]) Patrz przypis 5.

Ale to jest niemożliwe i to ze względów zasadniczych: wentyl, żeby spełniać powyższe warunki musiałby być bardzo wiotki; można jednak pokazać, że wtedy ulegałby fluktuacyom pozycyi, otwierałby się i zamykał bardzo często sam przez się, bez zewnętrznych uderzeń, przez co oczywiście zamierzonego skutku osiągnąćby nie mógł. Podobnież rzecz będzie się miała i w innych urządzeniach, jakieby można wymyślić celem nagromadzania pracy.

Należy zatem w wygłoszeniu twierdzenia o niemożliwości „perpetuum mobile“ drugiego rodzaju zrobić stosunkowo nieznaczne uzupełnienie, mianowicie podkreślić, że nie można trwale zyskiwać pracy. Twierdzenie traci wprawdzie przez to dawną uniwersalność, niemniej pozostanie prawdziwem w całym szeregu zjawisk.

Odpowiednie poprawki należy wprowadzić także do innych form, pod jakiemi można ująć drugą zasadą.

Tak się w ogólnym zarysie przedstawia plon Smoluchowskiego na polu kinetycznej teoryi materyi. Jednakowoż nie jest on jeszcze całkowitym Jego dorobkiem naukowym. W swej wszechstronności i naukowej płodności uprawiał Smoluchowski także inne dziedziny fizyki: hydromechanikę, termodynamikę i elektryczność[1]). Jego prace z tych dziedzin polegają głównie na rozwijaniu matematycznem ogólnych równań fenomenologicznej fizyki w zastosowaniu do różnych przypadków szczególnych. Nie nadają one się wcale z powodu, iż są bardzo specyalne, byśmy je tutaj omawiali, a to tem bardziej, że Jego talent zajaśniał najwięcej na polu badań kinetycznych. Te badania przedewszystkiem postawiły Go w szeregu pierwszorzędnych współczesnych teoretyków światowych. One bezwątpienia długo jeszcze będą zajmować uwagę fizyków i dadzą jeszcze impuls do ważnych odkryć na polu doświadczeń i teoryi.

Kończymy wyrazem dumy, że badacz tej miary wyszedł z pośród nas Polaków, tudzież głębokiego żalu, żeśmy Go tak wcześnie stracili.

---

[1]) Patrz przypis 6.

Przypisy.

1. Ueber Wärmeleitung in verdünnten Gasen. Wied. Ann. **64,** 1896.

Ueber den Temperatursprung bei Wärmeleitung in Gasen. Sitzgsber. d. Wien. Akad. **107,** 1898.

On conduction of heat in rarefied Gases. Phil. Mag. **46,** 1898.

Weitere Studien über den Temperatursprung bei Wärmeleitung in Gasen. Sitzgsber. d. Wien. Akad. **108,** 1899.

O atmosferze ziemi i planet. Księga pam. jubil. Uniw. Jagiell. 1901. Physikal. Zeitschr. **2,** 1901.

O drodze średniej cząstek gazu i o związku jej z teoryą dyfuzyi. Rozpr. Ak. Um. krak. **46,** 1906. Bull. Intern. de l' Acad. Crac. 1906.

O przewodnictwie cieplnem ciał sproszkowanych. Rozpr. Ak. Um. **50,** 1910, Bulletin 1910, Verh. d. II. Wärmekongress Wien. 1910.

Van der Waalsa teorya stanu ciekłego i zjawiska lepkości. Kosmos **35,** 1910.

Przyczynek do kinetycznej teoryi transpiracyi, dyfuzyi i przewodnictwa cieplnego w gazach rozrzedzonych. Rozpr. Ak. Um. **50,** 1910, tudzież Biulletyn; idem Ann. d. physik. **33,** 1910.

Bemerkung zur Theorie d. absoluten Manometers von Knudsen Ann. d. phys. **34,** 1911.

Some Remarks on Conduction of Hteat through rarefied Gases, Phil. Mag. **21,** 1911.

Zur Theorie d. Wärmeleitung in verdünnten Gasen und die dabei auftretenden Druckkräfte, Bulletin de l' Ac. d. Sc. Cracovie 1911. Ann. d. Physik **35,** 1911.

Etudes sur la conductibilité calorifique des corps pulvérisés. Suite. Bulletin 1911.

O pewnem zagadnieniu teoryi kinetycznej roztworów. Księga Pamiątk. Uniw. Lwowsk. 1911.

Bemerkung zu der Arbeit B. Baules: Theoretische Behandlung der Erscheinungen in verdünnten Gasen. Ann. d. Ph. **45,** 1914.
Zur Theorie der Zustandsgleichungen. Ann. d. Phys. **48,** 1915.

2. Ueber Unregelmässigkeiten in der Vertheilung von Gasmolekülen und deren Einfluss auf Entropie und Zustandsgleichung, Boltzmanns Festschrift, 1904.

Teorya kinetyczna opalescencyi gazów w stanie krytycznym, oraz innych zjawisk pokrewnych. Rozpr. Ak. Um. **47,** 1908; idem Biulletyn 1910 i Ann. d. Physik. **25,** 1910.

Beitrag zur Theorie d. Opalescenz von Gasen im kritischen Zustande, Bulletin 1911, Phil. Mag. **23,** 1912.

Experimentelle Bestätigung Rayleigh' schen Theorie des Himmelblaues, Bulletin, 1916.

O pewnych wadliwościach w udowodnieniu zasady entropii i za-

sadniczego równania Boltzmanna w teoryi kinet. Rozpr. Ak. Um. Bulletin 1915.

3. Zarys teoryi kinetycznej ruchów Browna i roztworów mętnych, Rozprawy Ak. Um. **46,** Bulletin 1910, An. d. Ph. **21,** 1910.

Einige Beispiele Brownscher Molekularbewegung unter Einfluss äusseren Kräfte, Bulletin 1913.

Ueber durchschnittliche maximale Abweichung bei Brownscher Molekularbewegung und Brillouins Diffusionsversuche, Sitzgsber. d. Wien. Akad. **124,** 1915.

Notiz über die Berechnung der Brownscher Molekularbewegung bei d. Ehrenhaft-Millikanschen Versuchsanordnung. Phys. Zeitschr. **16,** 1915; Nachtrag ibidem.

Ueber Brownsche Molekularbewegung unter Einwirkung aüsserer Kräfte und deren Zusammenhang mit der Diffusionsgleichung. Ann. d. Phys. **48,** 1915.

Versuch einer mathemat. Theorie der Koagulationskinetik kolloider Lösungen. Zeitschr. für phys. Chemie **92,** 1917.

4. Studien über Molekularstatistik von Emulsionen und deren Zusammenhang mit der Brownscher Bewegung. Sitzgsber. d. Wien. Ak. **123,** 1914.

Molekulartheoretische Studien über Umkehr thermodynamisch irreversibler Vorgänge und über Wiederkehr abnormaler Zustände. Sitzgsber. d. Wien, Ak. **124,** 1915, Physik. Zeitschr. **16,** 1915, Kolloid-Zeitschr. XVIII.

5. Gültigkeitsgrenzen des Zweiten Hauptsatzes d. Wärmetheorie. Göttinger Vorträge Teubner 1914, Physik. Zeitschr. **14,** 1912.

Zarówno w powyższym jak i w licznych innych odczytach i referatach przedstawiał Smoluchowski nowsze badania własne i cudze nad teoryą kinetyczną materyi, czasem także nad innymi działami fizyki. Oto ich spis:

Neuere Untersuchungen über die Wärmeleitung in Gasen. Oesterr. Chemiker Zeitung **2,** 1898.

O przewodnictwie cieplnem gazów według dotychczasowych teoryi i doświadczeń. Prace mat.-fiz. **10,** 1899.

Etherion, a new gas. Nature **59,** 1899.

O wynikach nowych badań nad promieniowaniem. Kosmos, **25,** 1900. 17 kongres międzynarodowy fizyków odbyty w Paryżu w r. 1900. Wiad. mat. **5,** 1901.

O nowszych postępach na polu teoryi kinetycznych materyi. Prace mat. fiz. **12,** 1901.

Uwagi o kilku zjawiskach drobinowych związanych z przypadkowemi odchyleniami od stanu najprawdopodobniejszego. Spraw. X. Zjazdu lek. i przyr. pols. Lwów, 1907/8.

Zarys najnowszych postępów fizyki. Muzeum **25,** 1907.

Lord Kelwin, Ateneum polskie I., 1908.

Ewolucya teoryi atomistycznej. Rocznik Ak. Um. krak. 1911, Wiad. mat. **15,** 1911.

Atomistyka współczesna, Pam. XI. Zjazdu lek. i przyr. pol. 1911.

Experimentell nachweisbare der üblichen Thermodynamik widersprechende Molekularphänomene. Phys. Zeitschr. **13,** 1912.

Anzahl und Grösse d. Moleküle und Atome. Scientia 13. Wiad. mat. **17,** 1913.

Dzisiejszy stan teoryi atomistycznej. Kosmos **38,** 1912.

O fluktuacyach termodyn. i ruchach Browna. Prace mat.-fiz. **25,** 1914.

Drei Vorträge über Diffusion, Brownsche Molekularbewegung und Koagulation von Kolloidtheilchen. Phys. Zeitschr. **17,** 1916.

Rudzki jako geofizyk, Kosmos 1917.

6. Ueber die innere Reibung in nichtwässerigen Lösungen Sitzgsber. d. Wien. Akad. **102,** 1893.

Akustische Untersuchungen über die Elastizität weicher Körper Sitzgsber. d. Wien. Ak. **103,** 1894.

Recherches sur la dependence entre le rayonnement d'un corps et la nature du milieu environnant. Comptes Rend. **122,** 1896.

Recherches sur une loi de Clausius au point de vue d'une theorie générale de la radiation. Journ. de Phys. **5,** 1896.

Conductance produced in Gases by Röntgen rays, by ultraviolet light, and by Uranium, and some consequences thereof Phil. Mag. **43,** 1897 (wraz z Dr. Beattie'm).

Experiments on the elektrical phenomena produced in gases by Röntgen rays, by ultraviolett light and by Uranium. Proceed. Edinbourgh Roy. Soc. **21,** 1897 (wraz z Lordem Kelvinem i Dr. Beattie'm).

On elektric equilibrium between Uranium and an insulated Metal in its neighbourhood. Phis. Mag. **45,** 1898 (wraz z Lor. Kelvinem i Beattie'm).

O zjawiskach aerodynamicznych i połączonych z niemi objawach cieplnych. Rozpr. Ak. Um. **43,** 1903.

Przyczynek do teoryi endosmozy elektr. i kilku zjawisk pokrewnych. Rozpr. Ak. Um. **43,** 1903, Phys. Zeitschr. **6,** 1905.

O metodzie podobieństwa dynamicznego i jej zastosowaniach w mechanice cieczy i gazów. Prace mat. fiz. **15,** 1904. Phil. Mag. **7,** 1904.

O powstawaniu żył podczas wypływu cieczy. Rozpr. Ak. Um. **44,** 1904.

Przyczynek do teoryi ruchów w cieczy lepkiej, zwłaszcza zagadnień dwuwymiarowych. Rozpr. Ak. Um. **47,** 1908.

Kilka uwag o fizycznych podstawach teoryi górotwórczych, Kosmos **34,** 1909.

O pewnem zagadnieniu z teoryi sprężystości i o związku jego z wytworzeniem się gór fałdowych. Rozprawy **49,** 1909, Bulletin 1909.

Versuche über Faltungserscheinungen schwimmender elastischen Platten. Bulletin 1909.

Some Remarks on the Mechanics of Overtrusth. Geol. Mag. **6,** 1909.

Sur la théorie mécanique de l'érosion glaciaire. Com. Rent. **150,** 1910.

O oddziaływaniu wzajemnem kul poruszających się w ośrodku lepkim. Rozpr. **51,** 1911, Bulletin 1911.

On the Practical Applicability of Stokes Law of Resistance and the modifications of it required in certain cases. Intern. V. Congress of Matem. Cambridge 1912.

Elektrische Endosmose und Strömungsströme, Graetz's Handbuch d. Elektriz. und d. Magn. II. Bd. 1914.

Uwagi o pojęciu przypadku w zjawiskach fizycznych. Księga pam. im. W. Orzechowicza. Lwów, 1915.

Ueber den Begriff d. Wahrscheinlichkeit und d. Gesetzes des Zufalls in der theoretischen Physik. Planck Heft der Naturwiss.

Przemówienie dr. Ignacego Zakrzewskiego.

Patrząc na przedstawiony dopiero co ogrom pracy naukowej ś. p. Smoluchowskiego, dokonanej w ciągu zaledwie 24 lat trudno uwierzyć, że niestrudzony ten pracownik znajdował jeszcze czas i możność działania i w innym kierunku, działania pożytecznego i obfite skutki zapowiadającego.

Tę możność tłómaczy nam jeden z najpiękniejszych rysów charakteru tego wielkiego uczonego, a był nim najszlachetniejszy altruizm. Sam doświadczając rozkoszy w twórczej pracy naukowej, w zagłębianiu się w tajnikach przyrody, w zdobywaniu krok po kroku ułamków wieczystej prawdy niezgłębionej, pragnął rozkoszą tą obdzielić koła jaknajszersze. Odrywa się więc często od swej pracy najmilszej i mnóstwo czasu i wysiłku poświęca na opracowanie mniej lub więcej popularne zajmujących go problemów.

Gdy pracami oryginalnemi zasila roczniki Akademii krakowskiej, wiedeńskiej i paryskiej, czasopisma naukowe angielskie, francuskie i niemieckie, umieszcza w „Kosmosie“, „Muzeum“, w „Pracach matematyczno-fizycznych“, w „Wiadomościach matematycznych“ liczne sprawozdania i przeglądy prac obcych, i opracowania własnych. Opracowuje dla ogromnego podręcznika nauki o elektryczności, wydawanego przez Grätza, obszerny dział o elektrycznej endosmosie, bierze